علاقة النبات بالماء

أهمية الماء وأشكال وجوده في النبات

1- دور الماء :

يعتبر الماء من المركبات الحياتية الهامة لنمو وتطور النبات حيث يحتاجه بكميات كبيرة، يشكل الماء في جسم النبات أكثر من 80 % من الوزن الرطب، ويلعب أيضا أدورا عديدة في حياة النبات، فهو المركب الرئيسي لجسمه، ويعتبر مذيبا أساسيا تذوب فيه المغذيات المعدنية وتنتقل من الجذر إلى قمة النبات، حيث:

١ - ينجذب الجانب الموجب من جزيئة الماء إلى الأيون السالب والجانب السالب إلى الأيون الموجب بذلك يشكل الماء طوق حماية حول الأيون.

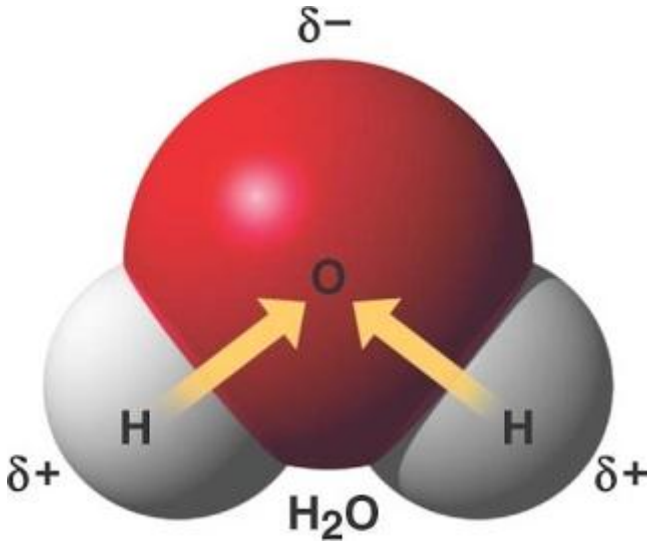
٢ -الماء خامل تقريباً ولا يدخل إلا في القليل من التفاعلات الكيميائية، لهذا فهو يعتبر أفضل وسط للفعاليات السيتوبلازمية.

٣ - يلعب دور محلول منظم، إذ من المعروف أنه يلزم (1) كالوري لرفع درجة حرارة (1غ) من الماء درجة مئوية واحدة وهذا ما يسمى بالحرارة النوعية Specific Heat التي تتراوح بين (0.4 و0.6) للأسيتون والكحول والغليكول وهي أقل للمعادن لذلك فإن هذه القيمة المرتفعة بالنسبة للماء تجعله يلعب دور واقي أو منظمTampon بالنسبة لتغيرات درجة الحرارة خاصة على مستوى الأوراق المعرضة للشمس، حيث تتخلص الأوراق من فائض الكالوري بواسطة النتح.

4- يلعب الماء أيضاً دوراً هاماً في الحفاظ على امتلاء الخلايا، حيث أن المواد المنحلة في محلول الفجوة تطور ضغطاً أسموزياً يجذب الماء مما يجعل الخلية في حال امتلاء ويساعدها على الحفاظ على صلابتها.

5- يعتبر الماء ضروريا أيضا للتمثيل الضوئي وتشكيل الكربوهيدرات المعقدة، وهو الذي يحفظ بناء الأحماض النووية والبروتينات وذلك بتزويدها بروابط الهيدروجين، وهو ضروري لفعاليات متعضيات الخلية، كذلك يعزى تفتح الأزهار إلى امتلاء الخلايا وتمتلك جزيئاته خاصة فريدة وهي **التماسك والالتحام** مما يحافظ على بقائها مترابطة ويساعدها على الحركة في جسم النبات، وهو الناتج النهائي لعملية التنفس، ويمتص النبات منه كميات هائلة ويفقد بنفس الوقت معظم هذه الكميات عن طريق النتح.

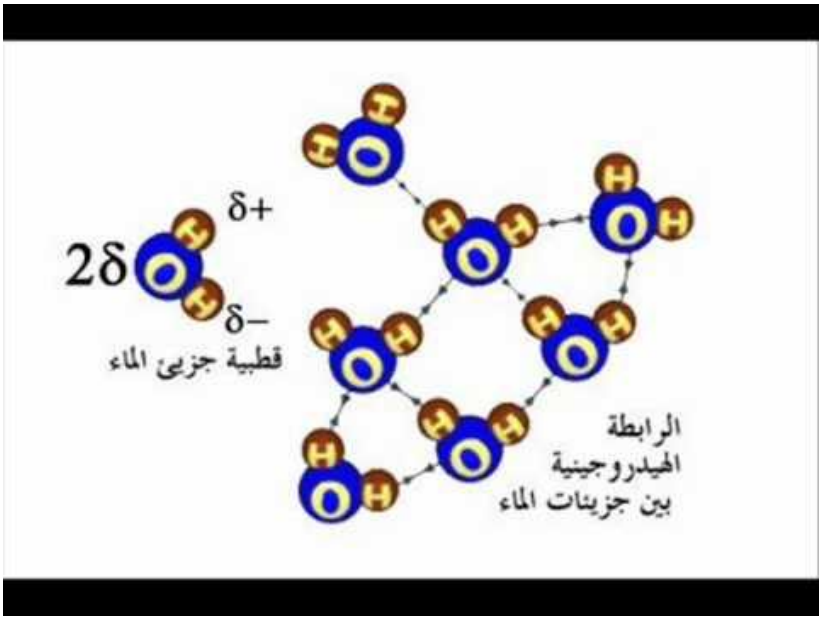
2 - تركيب الماء وخصائص جزيئاته: يعتبر الماء محلا قطبيا يتميز بقوى جذب كبيرة جدا، تكون جزيئة الماء على شكل مثلث متساوي الساقين، توجد في القمة ذرة الأوكسجين التي تتبادل الالكترونات مع الهيدروجين



شكل يوضح شكل جزيئة الماء والزاوية بين ذرتي الهيدروجين المرتبطة بذرة الأوكسجين، هذه الزاوية ليست ثابتة بشكل مطلق لكنها تمثل طريقة تقاسم الالكترونات وتوزع الشحنات وتجانب الجانب السالب من جزيئة الماء إلى الجانب الموجب من جزيئة أخرى مما ينتج عنه الرابطة الهيدروجينية.

مفهوم الرابطة الهيدروجينية:

يعتبر الهيدروجين الذي يمتلك الكترونا وحيدا ذرة خاصة جدا، فالبروتون غير المحمي جيدا بواسطة هذا الإلكترون الوحيد يعاني انجذابا من قبل أزواج الالكترونات غير المرتبطة التي تمتلكها الذرات المجاورة. لذلك يظهر تجاذب كهربائي ساكن يكون واضحا كلما كانت الذرة مرتبطة بتراكيب كيماوية. تدعى هذه الروابط بالروابط الهيدروجينية أو الجسر الهيدروجيني، وهي التي تسمح بتفسير تشكل تجمعات جزيئية مثل التي توجد في الماء، وهي التي تميز قوى التماسك لدى جزيئات الماء.



3 – الحالات المختلفة لوجود الماء في النبات:

a) الماء الحر Free water :

في الواقع لا يوجد الماء بشكل حر إلا على شكل ماء نقي (مقطر)، حيث أن ذوبان أية جزيئة فيه يطور قوى اسموزية تربط الماء، لذلك يمكننا أن نميز تحت هذا العنوان الماء ضعيف الارتباط الذي يشكل المحاليل التي نجدها في الأوعية الناقلة، في المسافات البينية للخلايا، ماء الفجوات الخلوية، يشكل هذا الماء 75 % من الماء الكلي.

b) الماء المرتبط Bound water :

يرتبط الماء بقوى فيزيوكيميائية مختلفة مثل القوى الأسموزية، القوى الشعرية وقوى الابتلال.

- **القوى الأسموزية:** وهي التي تفسر كل حركات الماء في الخلية وكل التبادلات بين الخلايا والوسط الذي يعيش فيه.
- **القوى الشعرية:** وهي القوى التي تربط الماء في الأوعية الشعرية في النبات ويمكن أن تصل هذه القوى إلى 15 كغ / سم^{2}.
- **قوى الإبتلال:** وهي القوى التي تربط الماء مع الغرويات المحبة للماء.

c) ماء البناء Water of constitution :

وهو الشكل الثالث من أشكال تواجد الماء في الخلايا، حيث يشكل قسماً مندمجاً في الجزيئات كما هو الحال في $CaCl_2 , {}_2H_2O$ و $CuSO_4 , {}_2H_2O$، هذا النوع من الماء لا يشكل سوى 3% من الماء الكلي.

امتصاص الماء من قبل النبات

Water absorption by plant

تحتاج الأوراق التي تقوم بمهمتين رئيسيتين " التمثيل الضوئي والنتح " إلى الماء والعناصر المعدنية التي تؤخذ من التربة عن طريق الجذور، بالمقابل فإن الجذر الذي يعتبر عضواً عديم الكلوروفيل يحتاج إلى تغذية كربوهيدراتية من قبل الأوراق وبذلك يتواجد على مستوى النبات الكامل نوعان النقل، أحدهما باتجاه الأعلى من الجذر إلى الأوراق والثاني باتجاه الأسفل أي من الأوراق إلى الجذور، لذلك فإننا سنركز على النوع الأول الذي يتناول موضوعين رئيسيين هما:

1- امتصاص الماء الي يحصل على مستوى الجذر.

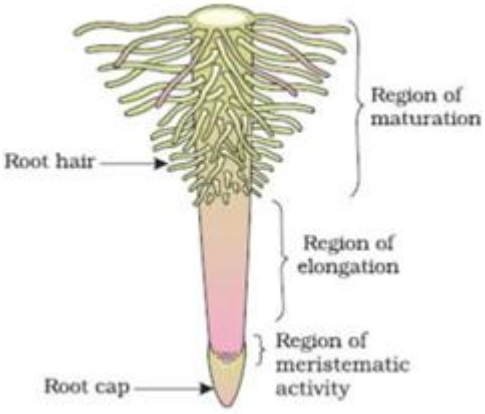
2- فقدان الماء عن طريق الأوراق (على شكل بخار أو سائل).

1-) الامتصاص الجذري Root absorption :

تستطيع النباتات الوعائية امتصاص الماء عبر كل سطحها، لكن هناك أعضاء متخصصة عند كل النباتات الراقية لامتصاص الماء والمواد المنحلة هي الجذور والأوبار الماصة.

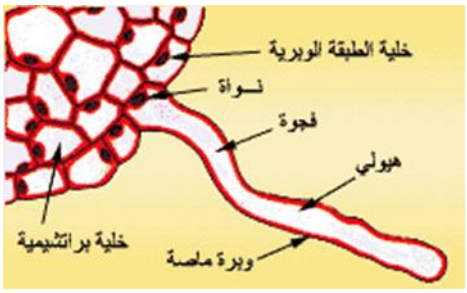
1-1- مورفولوجيا الجذر morphology and anatomy of roots:

يبدي مقطع طولي في الجذر عدة مناطق:



- منطقة القلنسوة (Root cap) : وهي مكونة من عدة طبقات خلوية تلعب دور الواقي لقمة الجذر حيث تقع المنطقة المريستيمية.
- المنطقة الجنينية (meristimatic zone): أو قبل النهائية وتعتبر منطقة الانقسام الخلوي.
- منطقة الاستطالة (Elongation zone): تتميز بلون مصفر وتحدث فيها استطالة الخلايا.
- منطقة الأوبار الماصة (Root hair zone) : وتمتلك عدداً كبيراً من الأوبار الماصة، ويتم فيها القسم الأكبر من الامتصاص، حيث يحتوي نبات الشعير مثلاً على 2000 وبرة ماصة / سم ^{2} وتمتلك سطح امتصاص يعادل 400 م ^{2}، وقد تتراوح كثافة الأوبار بين 200 إلى 500 وبرة / سم ^{2}.
- المنطقة البالغة (mature zone): وهي المنطقة التي تكون فيها الخلايا قد تمايزت وبلغت تمام استطالتها.

أما الوبرة الماصة فهي عبارة عن خلية كبيرة الحجم وحيدة يصل طولها إلى 2 مم ويبلغ قطرها حوالي 10 – 20 ميكرون وهي نفوذه جداً وتكون بتماس مباشر مع ماء التربة وغروياتها وتتميز بإفراز البروتونات (H^+) التي تحمض التربة مما يزيد من انحلالية الأملاح.



2- أشكال تواجد الماء في التربة Soil water : يرتبط الماء بمركبات التربة بواسطة قوى متعددة هي : القوى الأسموزية، قوى الابتلال والقوى الشعرية.

- **القوى الأسموزية Osmotic forces :** وتعزى هذه القوى للتجاذب الذي تمارسه الأيونات المعدنية على الماء في محلول التربة، ففي تربة مروية جيداً يكون احتجاز الماء ضعيفاً (أجزاء من البار) لدرجة أن محلول التربة يدعى أحياناً بالماء الحر، لكن عندما تجف التربة وخاصة عندما تكون مالحة (شواطئ البحار) يمكن أن تصل هذه القوى لعشرات البارات.
- **قوى الابتلال Soaked frces :** وتعزى للجذب الكهربائي الساكن Electrostatic الذي يوجد بين الشحنات السالبة (-) لغرويات التربة والأقطاب الموجبة للماء (+) عندما يستقطب، وهي قوى هامة جداً عندما تكون التربة طينية أو غنية بالدبال، وعندما تجف التربة وتزداد كثافة الشوارد، قد تصل هذه القوى إلى مئات البارات.
- **القوى الشعرية Capillary forces:** وترتبط هذه القوى بظواهر التوتر السطحي وتحفظ الماء في فراغات التربة الدقيقة، هذه القوى لا تسبب أية مشاكل للنبات، وان محتوى التربة العالي من الغرويات هو الذي ينظم كمية الماء المتاح عند درجات رطوبة متساوية.

يمكن للجذور أن تمتص الماء المتاح (Available water) وهو كمية الماء التي تقع بين السعة الحقلية (وهي كمية الماء التي تحتفظ بها التربة عند تعرضها لقوة نابذة قدرها 300 غ، 1/3 ض. ج) ونقطة الذبول (وهي كمية الماء الموجودة في تربة ما والتي إذا انخفضت عنها تؤدي إلى ذبول النباتات تماما).

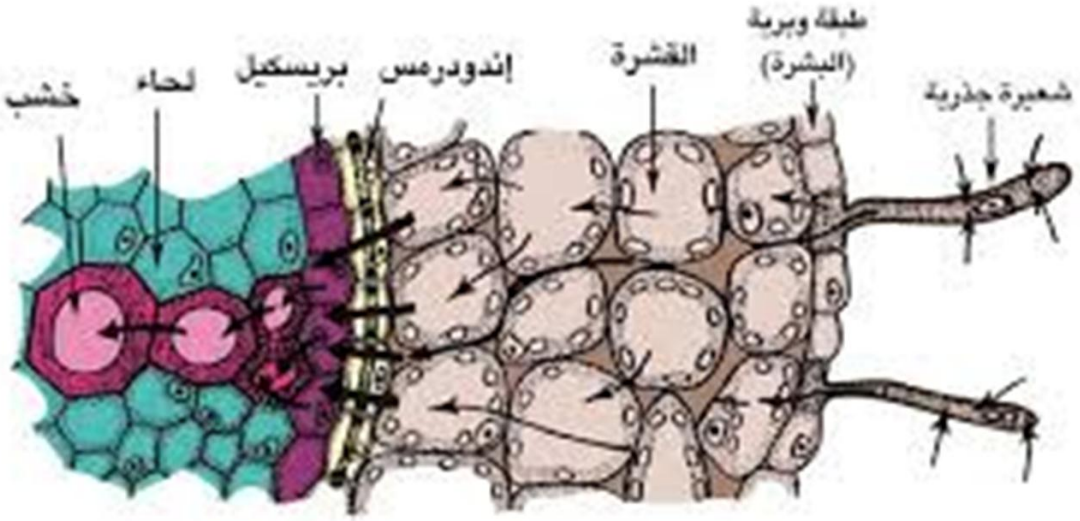
3- آلية امتصاص الماء Mechanisms of water absorption :

لقد وضعت عدة نظريات لتفسير آلية امتصاص الماء، إلا أن أياً منها لا يقدم أجوبة عن كل التساؤلات التي تطرحها هذه الآلية. يعزى دخول الماء إلى جذور النباتات في الظروف الطبيعية إلى عوامل حيوية وعوامل فيزيائية:

3 – 1- العوامل الحيوية:

- **نظرية ارتفاع الضغط الأسموزي (Hypertonic):** يعتمد امتصاص الماء بواسطة الشعيرة الجذرية على الضغط الأسموزي، فإذا امتلأت الشعيرة الماصة بالماء ينخفض ضغطها الأسموزي ويصبح الامتصاص

معدوما، فإذا كانت هناك حركة متواصلة للماء من الشعيرة الماصة إلى داخل الجذر فإن امتصاص الماء سوف يستمر.



شكل (٢) مرور الماء خلال خلايا الجذر

فعندما ينخفض الضغط الأسموزي في الشعيرة الماصة ويصبح أقل من ضغط الخلية المجاورة، ينتقل الماء من الشعيرة الماصة إلى الخلية المجاورة، فإذا امتلأت هذه الخلية ينخفض ضغطها الأسموزي ويصبح أقل من الضغط الأسموزي للخلية التي تليها، فينتقل الماء إليها وهكذا حتى يصل الماء إلى الأسطوانة المركزية. هنا يمكن أن يفسر انتقال الماء بنقل فعال حيث أن الضغط الاسموزي لخلايا الأسطوانة المركزية أقل من الضغط الأسموزي لخلايا الأندوديرمس (Endoderm).

وكما نعلم، فإن خلايا الجذر تحافظ على ضغطها الأسموزي أعلى دائماً من ضغط التربة الأسموزي وذلك بواسطة الامتصاص الفعال للعناصر المعدنية الموجودة في محلول التربة، هذا الامتصاص الذي سميناه بالامتصاص الإضافي.

3 – 2- العوامل الفيزيائية:

1- نظرية الرشف نحو الأعلى:

إن تأثير الفعالية الفيزيولوجية للأوراق على انتقال الماء نحو الأجزاء الهوائية أو على الامتصاص متعددة،

حيث ينظم النتح بواسطة فتح الثغور أو التكاثر الخلوي بما يتطلبه من الاحتياجات المائية امتصاص الماء، كذلك فللدفع الجذري أهمية في نقل الماء من الجذر نحو الأعلى.

2- نظرية تماسك جزيئات الماء:

تؤدي قوى تماسك جزيئات الماء في الأوعية الخشبية إلى صعود الماء فيها بشرط ألا ينقطع عمود الماء (بواسطة فقاعة هواء مثلا)، ويلاحظ في هذه النظرية أنه لا يتم صرف طاقة، وتأتي الطاقة الوحيدة اللازمة من ضوء الشمس.

يمكن أن تصل قوى التماسك في الظروف المثالية إلى 1500 ض.ج، وتبلغ القيم المحددة تجريبياً حوالي 25 ض.ج، ويمكن أن تصل إلى 133 – 207 ض.ج عند بعض الأشجار، لذلك يمكن القول أن هذه القوى تكون كافية لتفسير صعود الماء في معظم الأشجار.

3- نظرية الدفع الجذري:

تتضح ظاهرة الدفع الجذري عند النباتات المقطوعة حيث يمكن بواسطة Manometer تقدير القوى المتطورة في هذا السياق، حيث تكون من رتبة 1-2 ض.ج. وتبلغ 9 ض.ج عند الكستناء مما يدل على أن النسغ يمكن يصعد حتى 90 م في حال الكستناء (1 ض.ج يعادل ارتفاع 10 م للماء) إذا أهملنا قوى الاحتكاك.

وإذا قارنا قوة الضغط الجذري مع القوى الأخرى كالرشف نحو الأعلى بواسطة النتح أو قوى التماسك، يمكن القول إن الدفع الجذري يكون أقل فعالية، ويظهر بشكل فعال في الربيع عندما تكون الأشجار بدون أوراق حيث يلعب دورا هاما في التغذية وتفتح البراعم.

آلية الدفع الجذري: يبدو الدفع الجذري كآلية اسموزية منظمة بواسطة الفعالية الأنزيمية لخلايا الأسطوانة المركزية، ومن المعروف أن الأسطوانة المركزية والأوعية الخشبية تكون غنية في الربيع بالمواد الأسموزية الفعالة (غلوسيدات ناتجة عن حلمهة مخزون السنة السابقة)، تنفصل هذه الحجرة الداخلية عن القشرة بغشاء نصف نفوذ خاصة على مستوى البشرة يكون تركيز السكريات في الخشب كافيا لتطوير ضغط اسموزي قادر على جذب الماء، وأكثر من ذلك، يوجد إعادة تحميل دائمة للأسمولية (قياس تركيز المذاب أو عدد أسمولات المذاب/ لتر محلول)، إما بحلمهة المخزون المتراكم في الخشب أو بالامتصاص الفعال للعناصر المعدنية.

1 – 4 – العوامل المؤثرة في امتصاص الماء بواسطة الجذر:

4 – 1 – عوامل متعلقة بالنبات:

أ – الجهاز الجذري:

يحدد طول الشعيرات الجذرية وكذلك عددها وطول منطقة الأوبار الماصة أهمية الماء الممتص من التربة، حيث تنظم الشعيرة الجذرية مساحة السطح الذي يلامس الماء الشعري في التربة.

ب – نمو الجذور واستقلاباتها:

تكون حياة الشعيرة الجذرية قصيرة، لذلك تجف وتتوقف عن فعاليتها، في هذه الحال يجب أن تتكون شعيرة جديدة مكان كل شعيرة ميتة، لذا فإن استمرارية نمو الشعيرات الجذرية يؤثر كثيرا على امتصاص الماء.

ج – مقاومة الأجهزة الناقلة:

يعتمد معدل الماء الممتص على مقاومة مروره في الأوعية الناقلة، فطبيعة الأندوديرم والأوعية الخشبية وموقعها وكذلك توزعها وقطرها كلها تؤثر في امتصاص الماء.

4 – 2 – العوامل الخارجية:

أ – رطوبة التربة:

يكون امتصاص الماء جيدا بين نقطة الذبول والسعة الحقلية، فتوفر الماء في التربة يقلل من احتجازه بواسطة القوى الأسموزية وقوى الابتلال، وتنخفض قدرة النبات على الامتصاص بانخفاض مستوى الماء في التربة.

ب – درجة حرارة التربة:

يكون امتصاص الماء أعظميا بين درجة 15 و25 م°، وينخفض معدل امتصاص الماء من قبل الجذور بانخفاض درجة حرارة التربة، وتختلف النباتات في مقدار تأثرها بانخفاض حرارة التربة، فنباتات المناطق الباردة كالملفوف مثلا تستطيع أن تمتص 75 % من كمية الماء التي تمتصها عادة على درجة حرارة 10 م°، بينما لا تمتص نباتات المناطق الدافئة كالقطن والبطيخ سوى 20% من كمية الماء على هذه الدرجة، لذلك تعتبر الأتربة

الباردة أتربة جافة فيزيولوجياً.

ج – تهوية التربة:

تكون سرعة امتصاص الماء في الأتربة جيدة التهوية أكبر بشكل عام منها في الأتربة سيئة التهوية، حيث يخفض نقص الأوكسجين معدل امتصاص الماء، فيتأثر التنفس وكذلك العمليات الاستقلابية الأخرى في الجذور مما ينعكس على امتصاص الماء، لذلك تعتبر الأتربة الغدقة أو التي تكون نسبة O_2 منخفضة أتربة جافة فيزيولوجياً أيضاً.

د – تركيز CO_2 في التربة:

تخفض زيادة محتوى التربة من CO_2 امتصاص الماء من قبل الجذور، حيث يسبب CO_2 انخفاض نفاذية الجذور للماء ويزيد من لزوجة السيتوبلازم، كما يكون نمو الجذور في هذه الأتربة ضعيف ويكون المسطح الجذري الذي يقوم بامتصاص الماء منخفضاً.

هـ – تركيز محلول التربة:

يظهر هذا التأثير في التربة المالحة والقلوية وكذلك في المناطق الجافة، حيث يزداد تركيز محلول التربة مما يؤدي إلى نقص امتصاص الماء لارتفاع الضغط الأسموزي للتربة، كذلك فإن اضافة كميات كبيرة من الأسمدة للتربة يؤدي إلى حرق النباتات النامية فيها بسبب عجزها عن امتصاص الماء. ويمكن للنباتات أن تعدل ضغطها الأسموزي إلى حد معين، كما أنها تختلف في مقدرتها على رفع ضغطها الأسموزي، لذلك نجد أن قليلا من النباتات تستطيع العيش ضمن ظروف ارتفاع ملوحة التربة، مثل الـ Halophytes (النباتات المتحملة للملوحة) التي تنمو بنجاح في الأتربة الغنية بالعناصر المعدنية.

و – النتح:

يرتبط امتصاص الماء بشكل كبير بمعدل النتح، فالنتح يسبب توترا في الأوعية الناقلة بسبب فقد الماء مما يؤدي إلى زيادة امتصاص الماء.

طرح الماء Water excretion

يمتص النبات كميات كبيرة من الماء إلا أنه لا يحتفظ بها بل يفقد نسبة كبيرة منها إما على شكل بخار ينتشر في الوسط المحيط أو على شكل سائل. تسمى العملية التي يتم فيها فقد الماء على شكل بخار ماء بالنتح Transpirationوهي ضريبة ثانوية يدفعها النبات لقيامه بعملية التمثيل الضوئي، في حين تسمى العملية التي يفقد بها النبات الماء على شكل سائل بالإدماع Guttation.

تعتبر الأوراق الأعضاء الرئيسية للنتح ويحصل معظم هذا النتح عن طريق مسامات في الأوراق تدعى الثغور stomates، ويدعى هذا النتح بالنتح الثغري أو المسامي كما يفقد جزءاً قليلاً من الماء عن طريق خلايا البشرة في الأوراق وفي السوق الخشبية وهذا ما يسمى بالنتح الأدمي أو القشري، أو عن طريق عديسات موجودة في الفاكهة والسوق والخشب وهذا ما يسمى بالنتح العدسي، كما يحصل النتح في الجذوع الخشبية عن طريق شقوق القشرة.

1- بالإدماع Guttation:

نلاحظ هذه الظاهرة بسهولة على البادرات الموجودة في جو رطب، فإذا رويت بادرات القمح أو الشعير المزروعة في أصيص بكمية كافية من الماء ثم وضعت تحت ناقوس زجاجي نلاحظ بعد فترة من الزمن تجمع قطيرات صغيرة من الماء على رؤوس الأوراق تكبر رويداً رويداً ثم تنساب في النهاية عل طول نصل الورقة أو تسقط على الأرض. تسمى عملية خروج الماء من النبات على شكل سائل بالإدماع.

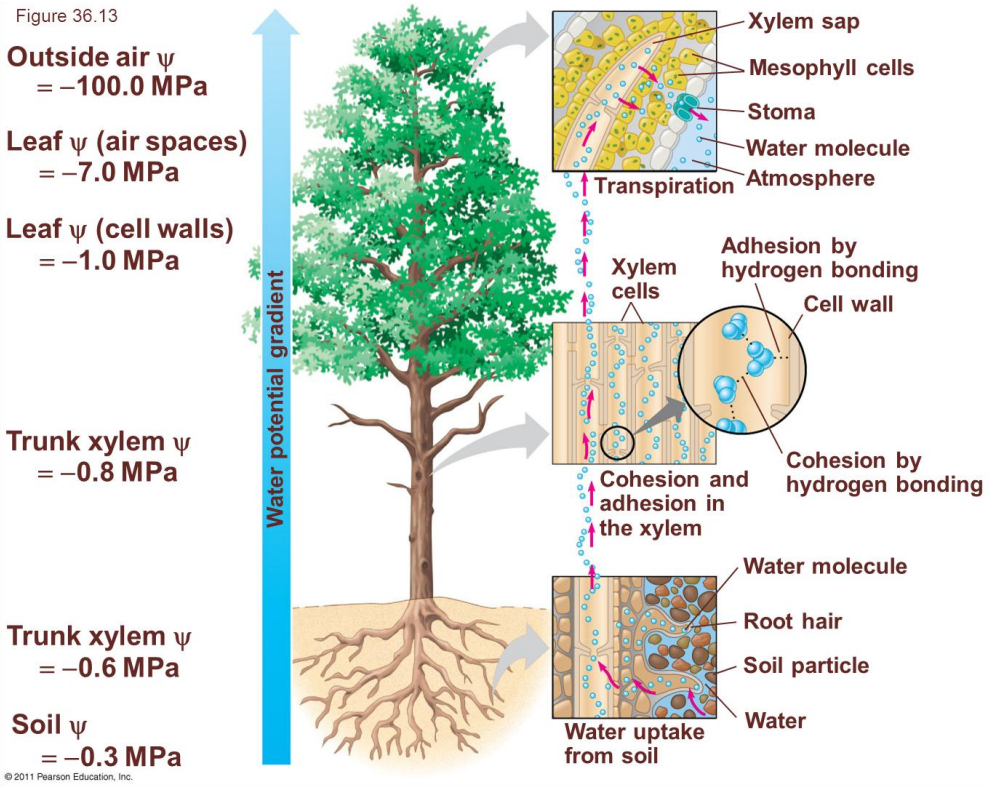
يحدث الإدماع في ظروف مناسبة لامتصاص الماء وغير مناسبة للنتح، حيث أنه في نهاية الربيع في المناطق المعتدلة عندما يكون الليل بارداً بعد يوم دافئ، نلاحظ عملية الإدماع في الصباح الباكر، وتتم عملية الإدماع من خلال تراكيب متخصصة تسمى hydathodes تتصف بوجود ثقوب متوضعة غير بعيدة من التشكلات الخشبية للورقة ويمكن أن تكون هذه التراكيب ثغورا غير متمايزة بشكل كامل، ويبدو أن الإدماع هو ظاهرة خارجية للدفع الجذري، يختلف حجم الماء المطروح بالإدماع من عدة ميكروليترات في النباتات الخشبية الى 10 أو 100 ملم النباتات الاستوائية.

هذه الظاهرة تختلف عن الندى: ظاهرة فيزيائية بحتة نجدها في الصباح الباكر على كل أسطح الورقة و ليس

حوافها و على شكل تكاثف لبخار الماء على الأسطح الباردة.

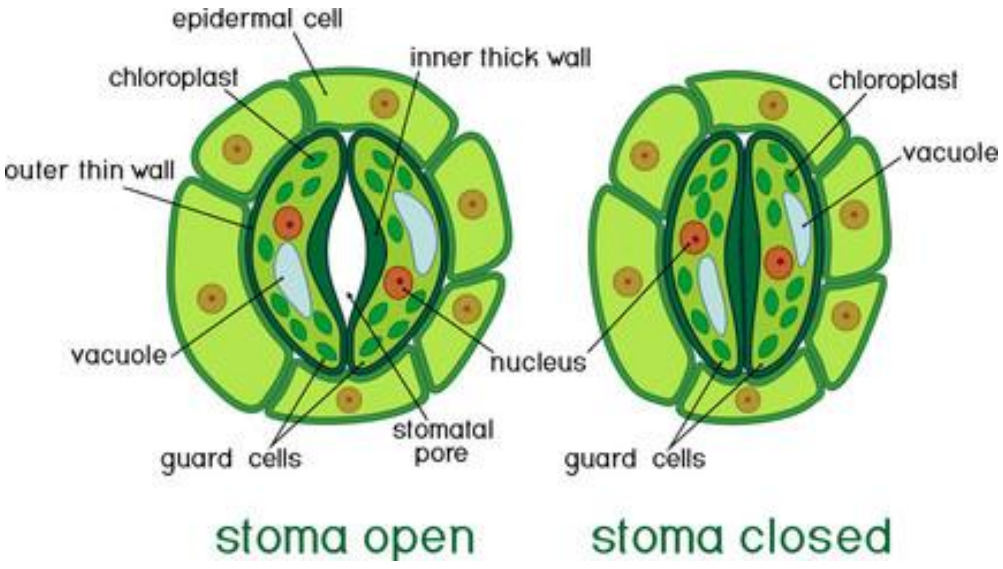
2- النتح Transpiration:

هو فقدان الماء من الأجزاء الهوائية من النباتات على شكل بخار، وتعتبر الأوراق الأعضاء الرئيسية للنتح، ويتم معظم هذا النتح عن طريق مسامات في هذه الأوراق تدعى الثغور stomatas يدعى هذا النتح بالنتح الثغري.



1- النتح الثغري Stomatic transpiration :

تحتوي بشرة الورقة على مسام دقيقة تدعى الثغور Stomatic، وهي ثقوب ميكروسكوبية محاطة بخليتين حارستين تنظم فتحها وإغلاقها، تكون جدرها المجاورة للفتحة الثغرية سميكة وأقل مطاطية من الجدر المجاورة للخلايا المحيطة، تجعل الزيادة في ضغط امتلاء هذه الخلايا الجدر الأكثر مطاطية تتمدد بشكل واضح مما يؤدي إلى سحب الجدر الداخلية السميكة فيفتح الثغر، وعندما يحصل فقد للماء، ينخفض حجم الخلايا الحارسة وتستقيم جدرها الداخلية مما يؤدي إلى إغلاق فتحة الثغر. تحتوي الخلايا الحارسة على كلوروبلاست مما يسمح لها بالتمثيل الضوئي، كما تنظم الثغور كل التبادلات الغازية مع الوسط الخارجي، ليس فقط التبادلات التي تنظم فيزيولوجية الورقة (CO_2 , O_2 , H_2O...) بل أيضا دخول الغازات الملوثة (SO_2 , HF , ozone...) وكذلك المبيدات الطفيلية وغيرها.



2- توزيع الثغور وعددها:

توجد الثغور عند كل مغطاة ومعراة البذور، عند الفوجير والسيكاديات وحتى عند الطحالب. يحتوي سطح الورقة على 1000 – 60000 ثغر / سم ^{2} ومع ذلك فهي لاتشكل إلا 1 – 2 % من السطح الكلي للورقة، بالإضافة لذلك، فهي موجودة على السطح السفلي أكثر من السطح العلوي.

جدول يوضح توزع الثغور على السطحين العلوي والسفلي للورقة (متوسط عدد الثغور / مم ^{2})

النباتات	السطح السفلي	السطح العلوي
تفاح	387	–
فاصولياء	281	40
ذرة	68	52
برتقال	449	–
شعير	23	25
عباد الشمس	156	85

3- أهمية كمية الماء المفقودة – دور الثغور:

يعتمد النتح على عوامل كثيرة لذلك فمن الصعب إعطاء قيم محددة للماء المفقود، على أي حال يمكن القول أن نبات واحد من عباد الشمس يفقد في يوم حار وجاف 1 ليتر من الماء إذا كانت التغذية المائية جيدة. كما أن النباتات العشبية تجدد ماءها كل 24 ساعة تقريبا، بالإضافة لذلك، فإن هكتارا واحدا من الملفوف ينتح حوالي 1600 كغ / ساعة.

يعتبر وجود الثقوب الصغيرة (الثغور) عامل لتسريع التبخر، فالثغور كما رأينا سابقا تشكل 1 – 2 % من المسطح الورقي، ومع ذلك تفقد ورقة نباتية تحتوي على ثغور 50 % من كمية بخار الماء المفقود من سطح حر (مكشوف) يمتلك نفس مسطح الورقة، لذلك ينتشر بخار الماء من الورقة النباتية بمعدل أسرع (50) مرة من انتشاره من اناء مكشوف له نفس المساحة.

وتُعزى سرعة التبخر إلى أن جزيئات بخار الماء التي تتصاعد من سطح مكشوف يزداد تركيزها في الهواء فوق سطح الماء المكشوف مباشرة مما يجعل هذه المنطقة مشبعة ببخار الماء وبالتالي يقل ممال التركيز بين الماء والهواء الذي يعلوه مباشرة مما يؤدي إلى انخفاض معدل التبخر، أما إذا غُطي السائل بغطاء مثقب بثقوب صغيرة متباعدة فإن بخار الماء المتصاعد لا يغطي سطح الثقوب فقط بل ينتشر إلى المساحات

المحيطة والتي تكون قليلة الإشباع ببخار الماء، إذاً يكون ممال التركيز بين سطح التبخر والهواء المحيط به كبيرة، مما يؤدي إلى زيادة التبخر.

يتناسب معدل انتشار بخار الماء مع قطر الثقوب وليس مع سطحها، وكلما صغرت الثقوب في مساحة معينة كان فقد الماء أكبر، لذا نجد أن مسام الورقة موزعة بشكل يسمح بتبخر سريع جدا.

4- آلية حركة الثغور Mechanisms of stomatic movement :

تعتبر الخلايا الثغرية أصغر من خلايا البشرة المجاورة لها مما يساعد الخلايا الحارسة على الاستجابة لتغيرات الامتلاء بسرعة أكبر، تتعلق درجة انفتاح الثغر بضغط الامتلاء، وكذلك بالمحصلة الناتجة بين ضغط امتلاء الخلايا المجاورة وخلايا البشرة المجاورة، وقد وضعت عدة نظريات لتفسير حركة الثغور أهمها:

a) دور التمثيل الضوئي:

ذكرنا سابقا أن الخلايا الحارسة تحتوي على كلوروبلاست، لذلك فهي قادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي، مما يجعلها غنية بالسكريات والنشاء، ببذلك يرتفع ضغطها الأسموزي مما يؤدي إلى امتلائها بالماء ومن ثم انفتاحها، وقد وجد أن الضغط الأسموزي للخلايا الحارسة قد بلغ 30 – 45 ض.ج، فيما يبلغ الضغط الأسموزي للخلايا المجاورة حوالي 15 ض.ج، ولكن حسب بعض الباحثين، فإن كمية التمثيل الضوئي في هذه الخلايا غير كاف لتفسير تغيرات الامتلاء فيما عدا أن الضوء ينتج طاقة ضرورية لفعاليات استقلابية أخرى.

b) حلمهة النشاء :

يكون ارتفاع الضغط الأسموزي حسب هذه النظرية ناتج عن حلمهة النشا بطريق أنزيمي، ويدعم هذه النظرية ملاحظات عديدة أهمها أنه في الضوء وعندما يبدأ التمثيل الضوئي تنخفض كمية CO_2 على مستوى الخلايا الحارسة : من 0.03% إلى 0.01 % في هذه الظروف يرتفع ال pH من 4 إلى 7 كما تختفي في الضوء حبيبات عديدة النشاء (يدل على ذلك تغير لون اليود) وتزداد كمية السكريات المرجعة بسبب تدخل أنزيمي تنظمه تغيرات ال pH، حيث أن ارتفاع ال pH يزيد فعالية أنزيم ال Phosphprylase (الخاص بالخلايا الحارسة والذي يعتبر شديد الحساسية لتغيرات ال pH)، يحفز هذا الأنزيم التفاعل:

$$\text{نشاء} + pO_4H_3 \rightarrow \text{glucose 1 phosphate} \quad (1)$$

لهذا يتغير الضغط الأسموزي في الخلايا الحارسة من 13 إلى 19 ض.ج بينما يكون الضغط الأسموزي في الخلايا المجاورة قريبا من 15 ض.ج.

أما في الظلام، فيتراكم CO_2 التنفسي مما يؤدي إلى انخفاض PH الخلايا الحارسة بسبب تشكل حمض الكربونيك، وبذلك تنخفض فعالية أنزيم ال Phosphorylase مما يؤدي إلى انزياح التفاعل (1) نحو اليسار فينخفض الضغط الأسموزي ويخرج الماء فينغلق الثغر.

من الآراء المعارضة لهذه النظرية:

- سرعة استجابة الثغور حيث تفتح في أقل من دقيقة.
- افتقار بعض الخلايا للنشاء (بشرة البصل).

وللرد على عدم كفاية هذه النظرية، فقد وضعت نظريات مختلفة منها أنه في الظلام يوجد تحرير ل CO_2 التنفسي، هذا ال CO_2 يسبب التخدر الخلوي مما يزيد نفاذية الجدر الخلوية وينتج عن ذلك خروج الماء وبالتالي إغلاق الثغور.

c) نظرية التدفق الأيوني :

تعتمد هذه النظرية على حقيقة أن تغيرات الامتلاء تعزى إلى الدخول الفعال للأيونات إلى الخلايا الثغرية خاصة البوتاسيوم k^+، في هذه النظرية، يترافق انفتاح الثغور بدخول البوتاسيوم، فيما يترافق انغلاقها بخروج ال k^+، حيث تلعب الخلايا المجاورة دور خزان لأيونات ال k^+ ويتم دخولها بواسطة ال ATPase الموجود على الغشاء البلازمي. كذلك فإن مشكلة توازن الشحنة تقضي بدخول ال cl نتيجة دخول ال k^+ وذلك لمعادلة الشحنة أو تتم معادلة الشحنة بواسطة حلمهة النشاء وتشكل المالات malate:

$$\text{نشاء} \longrightarrow COOH{-}CHOH{-}COOH$$

$$R{-}COOH \longrightarrow R{-}COO + H^+$$

إذاً فإن دخول الk^+ يصبح مقترنا بخروج ال H^+ الآتي من حمض الماليك.

للهرمونات النباتية أيضا دور ينحصر في تنظيم المضخة الأيونية، فحمض الأبسيسيك (ABA) يثبط عمل معقد ال ATPase مما يخفض تدفق ال k^+ في حين تشجع الهرمونات الأخرى مثل السيتوكينين (CK) والجبرلين (GA_3) هذه المضخات الأيونية.

5- العوامل المؤثرة على حركة الثغور Factors affect stomatic movement :

يؤثر على حركة الثغور عوامل عديدة خارجية وداخلية، وهذه الأخيرة يمكن أن تتغير بتأثير الأولى.

A) العوامل الخارجية: External Factors

من البديهي أن كل العوامل التي تميل لخفض المحتوى المائي للأوراق تسبب إغلاق الثغور، وبالعكس فكل العوامل التي تزيد المحتوى المائي تسبب انفتاح الثغور وأهمها الضوء والحرارة.

1- تأثير الضوء:

عندما تسقط أشعة الشمس على الورقة الخضراء، فإن 50 % منها يستخدم في النتح، وبصورة عامة، تسبب الإضاءة فتح الثغور كما يتسبب الظلام في اغلاقها. يتطلب انفتاح الثغور حوالي ساعة بينما يكون الانغلاق أسرع منه، إلا أنه توجد نباتات تنغلق مساماتها نهاراً وتفتح ليلاً (الصباريات) لأنها تستطيع تثبيت CO_2 في أحماض عضوية، ويبدو أن تأثير الإضاءة ظاهرة مرتبطة بالتمثيل الضوئي، مما يفسر حساسية الثغور لـ CO_2 والذي يتغير تركيزه تبعاً لفعالية التمثيل الضوئي.

2- الحرارة:

تسبب الحرارة المرتفعة (30-35 مْ) إغلاق الثغور، ويفسر هذا كنتيجة لزيادة التنفس مسبباً بذلك زيادة معدل CO_2 في الأنسجة، ويعتبر هذا التفسير مقبولا كونه يمكن تلافي إغلاق الثغور عندما تحتفظ الورقة في وسط فقير ب CO_2، ومع ذلك، ففي بعض الحالات يمكن للحرارات المرتفعة أن تسبب فتح الثغور بدل إغلاقها.

B) العوامل الداخلية Internal factors

1- عمر الورقة:

يصاحب التقدم في عمر الورقة تغيرات في بعض المعايير الفيزيولوجية كالتنفس، التمثيل الضوئية والنفاذية الخلوية، كذلك الحال بالنسبة للفعالية الثغرية، حيث تكون الورقة الناضجة أكثر حساسية لتغيرات الشدة الضوئية، في حين يكون الوضع معاكسا بالنسبة لورقة مسنة موضوعة في نفس الظروف.

2- دور الهرمونات النباتية:

ذكرنا سابقا أن الهرمونات النباتية تشارك في تنظيم عمل الثغور وأكثرها دراسة هو حمض الأبسيسيك (ABA). هذا الهرمون تصنعه الأوراق في الكلوروبلاست ويمكن أن يؤثر في حال النقص المائي على الثغور ويسبب اغلاقها وبذلك ينخفض فقد الماء، بينما ينشط السيتوكينين والجبرلين فتح الثغور وبالتالي فقد الماء.

3- تركيز CO_2 في الخلايا:

تعمل فعالية التمثيل الضوئي على تغيرات ضغط CO_2 على مستوى خلايا الورقة، لذلك فعندما تحرم الخلية من CO_2 تفتح الثغور حتى في الظلام، وأي تركيز زائد من CO_2 (أكثر من 0.05%) يسبب إغلاق الثغور حتى في الضوء.

6-طرق قياس النتح:

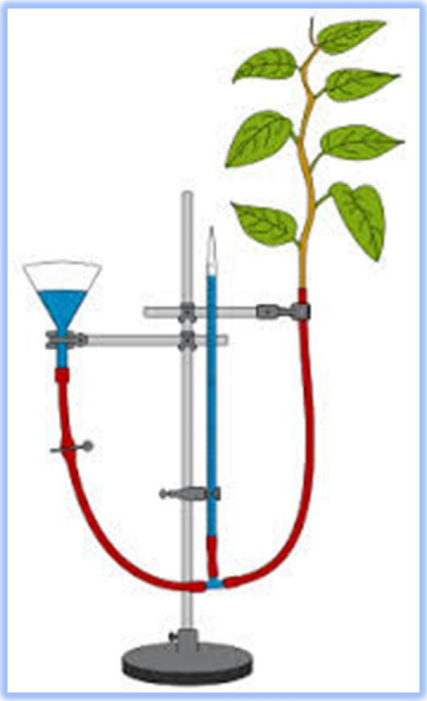
يمكن تعريف كثافة النتح بأنها كمية الماء المطروحة في وحدة الزمن أو وحدة كتلة المادة النباتية أو وحدة المساحة، وتوجد عدة طرق لقياس شدة النتح أهمها:

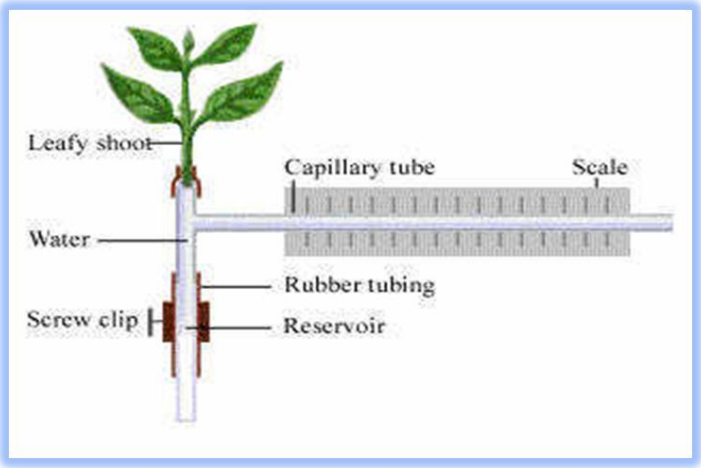
a) الطريقة الوزنية:

يؤخذ نبات مزروع في أصيص غير نفوذ للماء ويغطى سطح التربة بغطاء عازل لمنع التبخر عن طريق التربة ثم يوزن النبات والأصيص في الوقت t_o أي بداية التجربة ثم يوزن بعد فترة من الزمن، يعبر نقص الماء الناتج من فرق الوزن في البداية والنهاية عن الماء المفقود بطريق النتح، ويمكن اهمال تغيرات الوزن الناتجة عن استهلاك المواد المغذية أثناء عملية التمثيل الضوئي لكونها صغيرة بالمقارنة مع كمية الماء المفقود بالنتح.

b) الطريقة الحجمية:

لتقدير كمية الماء المنخفض من النباتات، يجب الأخذ بعين الاعتبار وذلك بطريقة أو كمية الماء الممتصة تفقد في الهواء المحيط بواسطة نتح المجموعة الهوائية، لذلك يفترض أن الكمية المفقودة بالنتح تعادل الكمية الممتصة من التربة إذا أهملنا الماء المستخدمة في الاستقلاب الخلوي، لذلك يمكن تقدير كمية الماء المفقود بالنتح بالطريقة الحجمية بوضع غصن نباتي في جهاز البوتومتر، الذي يتألف من انبوب زجاجي مجهز بسدادة محكمة ذات ثقب في الوسط، يتصل من الجانب أنبوب رفيع مدرج يحتوي على فقاعة هواء ومن الجانب الآخر قمع زجاجي. يملأ الجهاز بالماء الذي يملأ الأنبوب الرفيع المدرج مع ترك فقاعة الهواء لتدل على تراجع الماء في هذا الأنبوب، عندما يفقد النبات الموضوع في الجهاز الماء عن طريق النتح، يعوض الماء المنتوح من الأنبوب المملوء بالماء مما يؤدي إلى تراجع الماء الموجود في الأنبوب المدرج مع فقاعة الهواء، يمكن حساب كمية الماء الممتصة بعد فترة من الزمن بمعرفة قطر الأنبوب الجانبي المدرج.

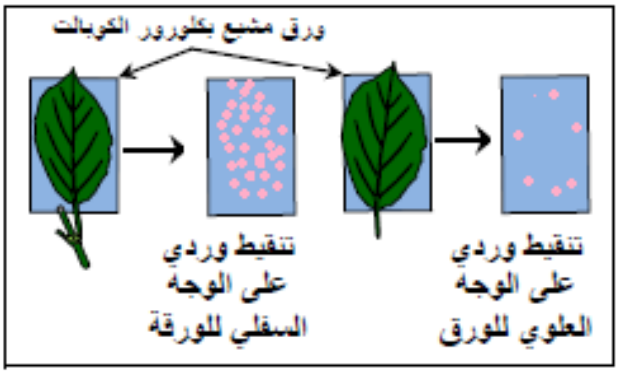




تعتبر هذه الطريقة غير دقيقة وذلك لوجود النبات في ظروف فيزيولوجية غير طبيعية (عدم وجود تربة، أحيانا عدم وجود جذور في حال وضع غصن مقطوع بدل النبات الكامل).

c) طريقة ورق كلور الكوبالت:

توجد مواد دالة لانطلاق بخار الماء مثل الأوراق المشربة بأملاح معدنية لامائية يتغير لونها عندما تصبح مائية مثل كلور الكوبالت اللامائي $COCl_2$ الأزرق الذي يصبح لونه وردي عند امتصاص الرطوبة أو كلور الحديد اللامائي الرمادي الذي يتحول لونه إلى أسود بامتصاص الرطوبة.



كلورور الكوبالت كاشف أزرق اللون في وسط جاف ووردي اللون في وسط رطب

توضع أوراق مشبعة بكلور الكوبالت اللامائي الأزرق على وجهي الورقة النباتية وتثبت بعد تغطيتها بقطع من النايلون لمنع وصول الرطوبة الجوية بواسطة مشبك معدني ثم يقدر الزمن اللازم لتحول اللون من الأزرق إلى الوردي دالا بذلك على شدة النتح، يمكن ملاحظة أن سرعة تحول اللون على الوجه السفلي أكبر من تحوله على الوجه العلوي، وذلك لكونه عند الثغور الموجودة على الوجه السفلي أكبر من عددها على الوجه العلوي.

7- العوامل المؤثرة على النتح:

تختلف شدة النتح باختلاف رطوبة الهواء، درجة الحرارة، سرعة الرياح...الخ.

أ- **الرطوبة:** يتطلب تبخر الماء في الواقع طاقة حرارية تكون كبيرة بقدر ماتكون درجة الحرارة المحيطة بالنبات بعيدة عن 100 م°، من جهة أخرى، فإن انتشار جزيئات الماء تكون أكثر سهولة بقدر مايكون فرق تركيز بخار الماء أكثر وضوحا حول الماء السائل.

ب – درجة الحرارة:

تعتبر الطاقة الشمسية مصدر الطاقة الحرارية التي تسمح بتبخر الماء، ولهذا للتبخر فائدة كبيرة هي تبريد سطح الورقة باستهلاك الحرارة، ويزداد الضغط الجزئي لبخار الماء (e_s) بارتفاع درجة الحرارة، هذا الارتفاع في الحرارة يزيد من النقص في اشباع الجو ببخار الماء ($e_s - e_o$)، لذلك كلما ازدادت درجة الحرارة ازدادت كمية النتح.

ج – سرعة الرياح:

تسمح الحركة المتزايدة للرياح بتسرب أكثر سهولة لجزيئات الماء المتبخرة، حيث تزداد شدة النتح بسبب تجديد الهواء المحيط بالأوراق، إذ يستبدل الهواء المشبع جزئيا ببخار الماء بهواء أقل إشباعا مما يؤدي إلى زيادة النتح، أما إذا كانت الرياح هادئة، فإن الهواء المحيط بالمسام يصبح تدريجيا مشبعا ببخار الماء مما يقلل الفرق بين ضغط بخار الماء في المسافات البينية وبين الهواء فيقل النتح، كذلك فإن التواء الأوراق واصطدامها ببعضها أثناء هبوب الرياح يؤدي إلى زيادة معدل النتح حيث يؤدي التواء الأوراق إلى الضغط على البخار الموجود في المسافات البينية ويدفعه إلى الخارج.

د– توفر الماء في التربة:

لتوفر الماء في اتربة أهمية كبيرة بالنسبة لمعدل النتح، فعندما يتوفر الماء بشكل جيد ويزداد معدل النتح وعندما تنخفض كمية الماء في التربة يقل امتلاء الخلايا الثغرية فتنغلق وبالتالي ينخفض معدل النتح.

8– فوائد النتح:

- يعمل على خفض درجة حرارة الأوراق، حيث أن تحول الماء إلى بخار يتطلب طاقة عالية ويستهلك حرارة، لذلك فإن تبخر الماء من النباتات يعمل على استهلاك حرارة مما يؤدي إلى خفض درجة حرارة النبات.

- يساعد على انتقال الماء والمواد المنحلة، فعندما تفقد الخلايا الثغرية الماء تسعى لتعويض الفاقد من الخلايا المجاورة، وهذه أيضا تسعى لتعويض الفاقد من غيرها من الخلايا، وهكذا تبقى حركة الماء مستمرة من الجذور وانتهاء" بالأوراق، تنتقل المواد المغذية المنحلة مع الماء عند امتصاصه من قبل الجذور وصعوده إلى الأعضاء الهوائية، وقد دلت الأبحاث على وجود توافق بين انتقال الأملاح ومعدل النتح كما هو الأمر بين معدل انتقال الماء ومعدل النتح.

{نهاية الجلسة}